

ビデオ観測でみた20の流星群

——こと座流星群とみずがめ座 η 流星群

MSSonline 2024/10/07
日本流星研究会 小関正広

要旨：4月こと座流星群、みずがめ座 η 流星群、やぎ座 α 流星群、みずがめ座 δ 南流星群、ペルセウス座流星群、はくちょう座 κ 流星群、9月ペルセウス座 ϵ 流星群、オリオン座流星群、おうし座南流星群(SE)、おうし座南流星群(SF)、おうし座北流星群、しし座流星群、アンドロメダ座流星群、11月オリオン座流星群、うみへび座 σ 流星群、12月いっかくじゅう座流星群、ふたご座流星群、かみのけ座流星群、こぐま座流星群、しぶんぎ座流星群、以上20の流星群について SonotaCo ネット(2007~2022年)、GMN(2018~2023年)の観測を用いて調査した結果を示す。そのうち、本稿はこと座流星群とみずがめ座 η 流星群のみを扱う。

分析方法

今回は以下に示す SonotaCo ネットと GMN による流星群データ集の使用データ範囲をそれぞれ 2007-2018 から 2007-2020、2018-2022Feb.から 2018-2023 に拡大した。

ビデオ観測による流星群データ集 2020/11/20 改 2021/02/13 (SonotaCo ネット)

ビデオ観測による流星群データ集 MSSonline 2023/Mar./30 (GMN)

分析方法は両者で詳しく述べているものとほとんど同じであるが、細かいところでは以下の違いがある。輻射点移動追跡に使用するデータ範囲を両者で共通とした。

範囲の中心を極大とした先の研究に対して、活動が活発な期間を含むよう中心時期を選んだ。

輻射点移動追跡の原点をそれぞれ先の研究による中心時期の輻射点位置とした。

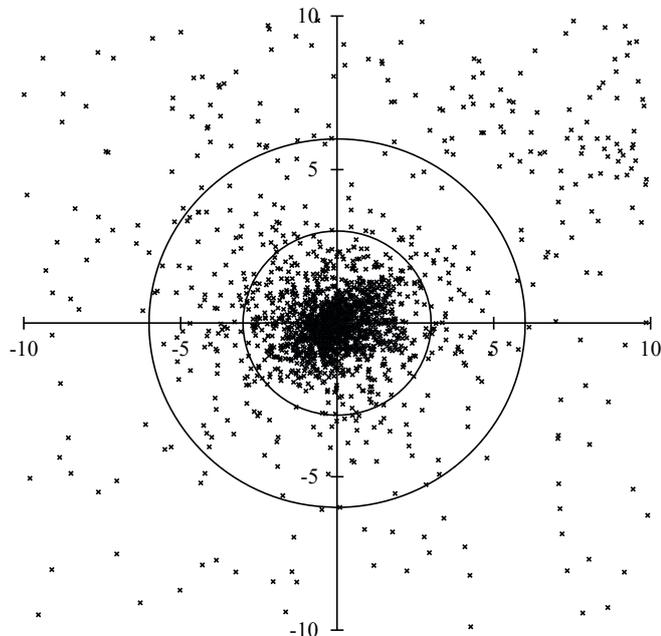
A. 4月こと座流星群

調査範囲を極大と中心として前後に同じ期間を設定すると、活動曲線が非対称な、こと座流星群の分析には不適切であるので、予備調査を行い、活発な活動がみられる期間を次の初期設定を用いた。輻射点の位置を表すのに $(\lambda-\lambda_s, \beta)$ を用いるのは、 (α, δ) を用いた場合に比べて輻射点の

	λ_s	$\lambda-\lambda_s$	β
SonotaCo	32	240.9	56.8
GMN	32	240.7	56.8

移動量が少なくなり、球面を平面に投影した場合の歪みを小さくできるからである。SonotaCo ネットと GMN で $(\lambda-\lambda_s, \beta)$ の初期値に多少の差があるのは、それぞれの予備調査の結果を用いたためである。なお、両者ともに $\lambda_s=32$ から前後5度、輻射点の中心から3度以内、 $\Delta V_g < 3(\text{km/s})$ のものを「こと座流星群」とみなして、回帰分析を行った。

輻射点の中心から3度以内、 $\Delta V_g < 3(\text{km/s})$ のものを「こと座流星群」とみなして、回帰分析を行った。



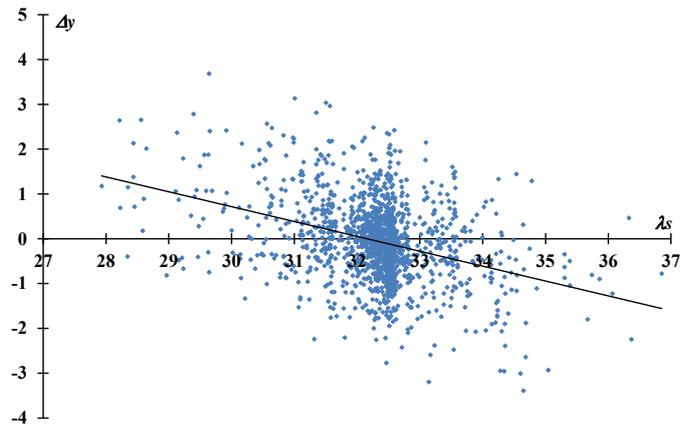
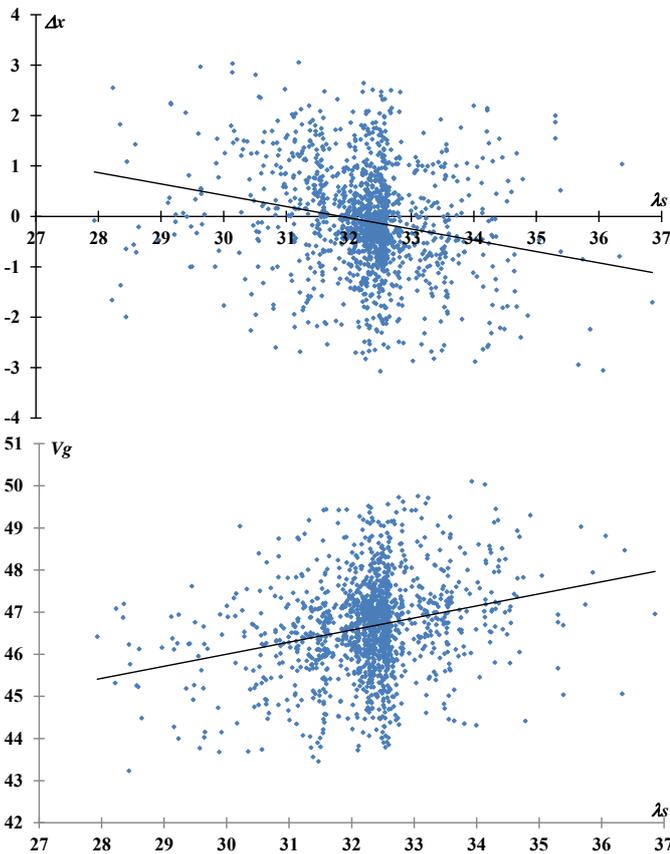
輻射点の移動と地心速度の変化

左図は初期設定そのまま、輻射点移動を考慮しないままの SonotaCo ネットによる輻射点分布を示したものである。 $(\lambda-\lambda_s, \beta)$ 座標を用いているので輻射点移動は小さく抑えられている。それでも、やや細長くなっているのが、中心から3度以内(内側の円内)の流星について、輻射点の x 座標、 y 座標、地心速度(V_g)について回帰分析を行う。得られた結果による新たな中心から3度以内、回帰直線から $\Delta V_g < 3(\text{km/s})$ のものについて再度回帰分析を行い、収束するまでこの作業を繰り返す。収束した結果を次ページに示す。

輻射点分布図上での移動量 Δx 、 Δy ともに右下がりの変化を見せており、輻射点の中心は $(\lambda-\lambda_s, \beta)$ の座標で右上から左下に移動していることになる。これが先に示した輻射点分布が楕円形となっている原因である。しかし、図からわかるように流星はほぼ $\lambda_s=32\sim 33$ という短い期間に集中しており、決定精度が十分とは言い難い。

2014年4月23日 03:24:18-03:48:10($\lambda_s=32.350$)という30分足らずの時間に20個のこと群が撮影されている。こと座流星群ではこのような突発が観測されることがあり、ここでの分布でも通常の極大($\lambda_s=32.5$)以外にも流星数の粗密がみられている。 $\lambda_s=31.5$ 付近で分布が濃くなっているのは2021年の観測によるものである。

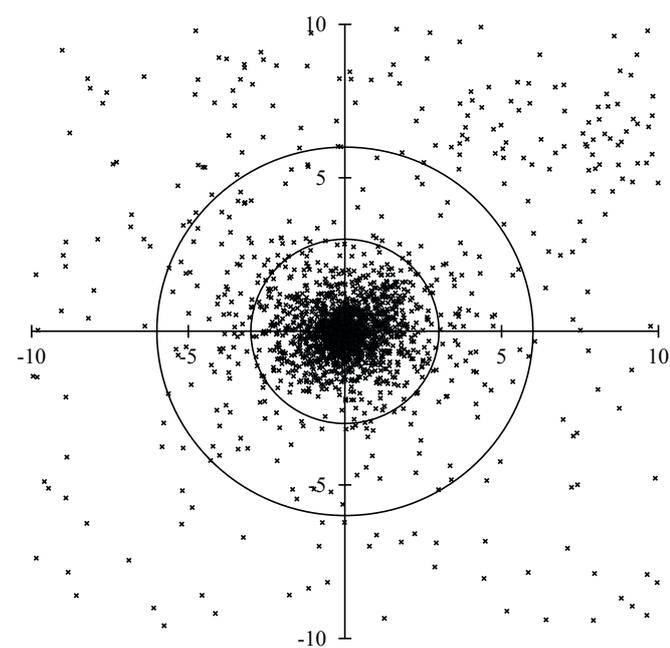
回帰分析によって得られた輻射点移動を補正した分布図を次ページに示す。この分布図で、こと座流星群の右上にやや輻射点が集まっている部分があり、0581NHE という登録がされている。この活動はあとで述べる



ように、GMN の観測ではもう少しはっきりしたものととらえられている。

同様の処理を GMN のデータに対しても行い、輻射点及び地心速度の変化を SonotaCo ネットの結果と比較したものが次表である。上の行が SonotaCo ネット、下の行が GMN の結果である。

輻射点、また、地心速度もよく一致していることがわかる。回帰分析の図の説明の中でも触れたが、次ページに示す活動曲線からもわかるように、こと座流



λ_s	α	δ	V_g
27.0	267.3	35.1	45.1
	266.7	35.2	45.1
28.0	268.2	34.8	45.4
	267.7	34.8	45.4
29.0	269.1	34.4	45.7
	268.7	34.4	45.7
30.0	270.1	34.1	46.0
	269.7	34.1	46.0
31.0	271.0	33.8	46.3
	270.8	33.7	46.3
32.0	271.9	33.5	46.6
	271.8	33.4	46.6
33.0	272.9	33.2	46.9
	272.8	33.1	46.9
34.0	273.8	32.9	47.1
	273.8	32.8	47.1
35.0	274.7	32.6	47.4
	274.9	32.4	47.4
36.0	275.7	32.3	47.7
	275.9	32.1	47.7
37.0	276.6	32.0	48.0
	276.9	31.9	48.0

星群の活動期間は短く、回帰分析の結果には幅ができません。活動の前半で輻射点の位置に多少の差がみられるが、この程度の差はやむを得ないと考えられる。

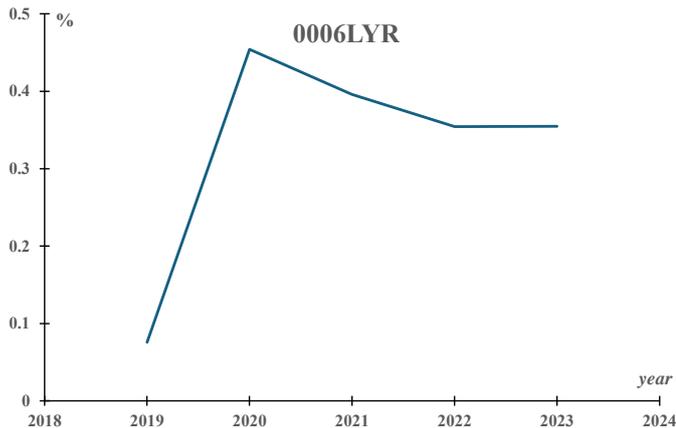
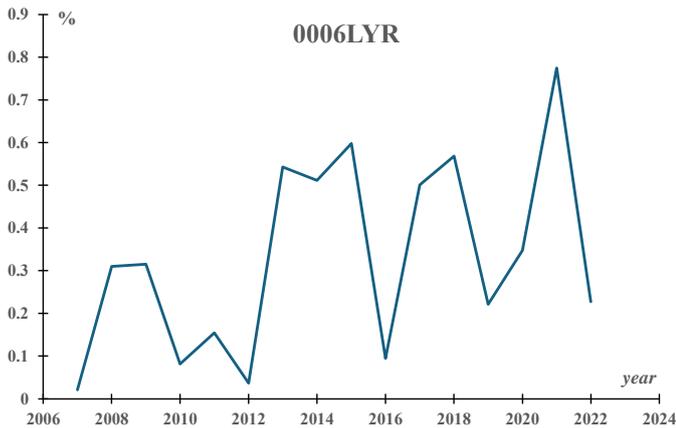
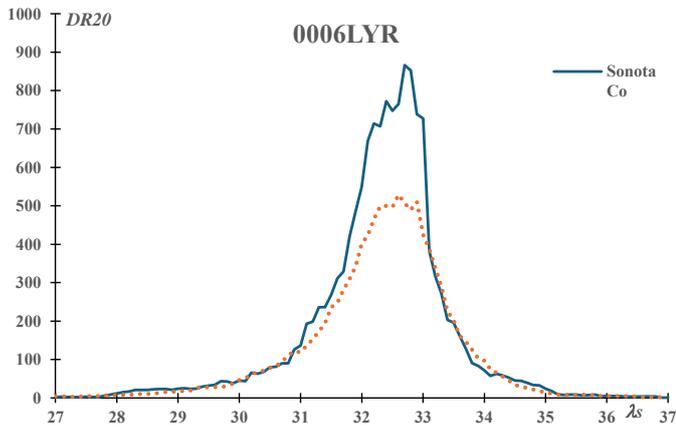
活動の変化：活動曲線と年変化

活動曲線（次ページ）を流星数そのものでなく、DR20 によって比較しているのは、SonotaCo ネットと GMN の流星数に差があることと、観測条件が異なるためである。

活動曲線は極大の DR20 の数値を除けば、極大の太陽黄経、活動曲線全般の形はよく似ている。こと座流星群の活動が活発な時間はほぼ 2 日程度に限られること、および、活動曲線は非対称で極大後には活動が急速に低下することが示されている。

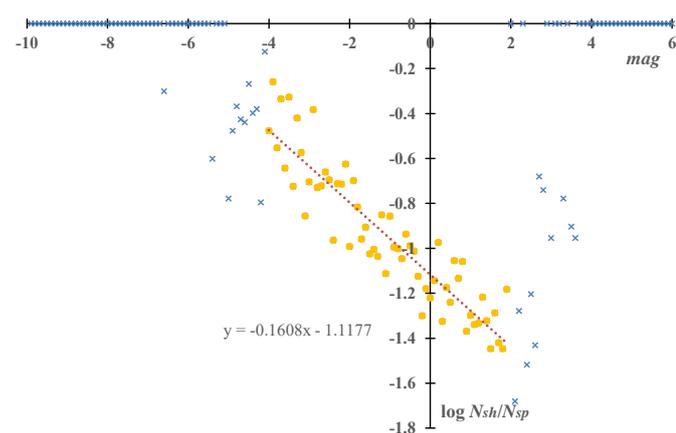
周囲の流星活動との比較により、観測条件の差異を緩和しているとはいえ、DR20 であってもそのすべてを打ち消すことはできない。極大における DR20 の差異は先に述べた 2014 年、2021 年に SonotaCo ネットで活発な出現を捉えていることが違いを引き起こした一つの要因であろう。

活動曲線下の図は、SonotaCo ネットの観測において本稿で「こと座流星群」と判定した流星が年ごとの全観測流星に占める割合を示したものである。年による変動が大きいのは天候不順や月明の影響によるものが大



星群とほぼ同じ地心速度をもつ散在流星（図では個々の流星のデータは省略している）と光度による発光点高度または消滅点高度を比較したものである。発光点高度は、0等級の流星でこと座流星群の方が散在流星よりも3.6kmほど高くなっている。また、消滅点でも1.4km高い。しかし、明るい流星になると、こと座流星群のほうが低空まで侵入している。

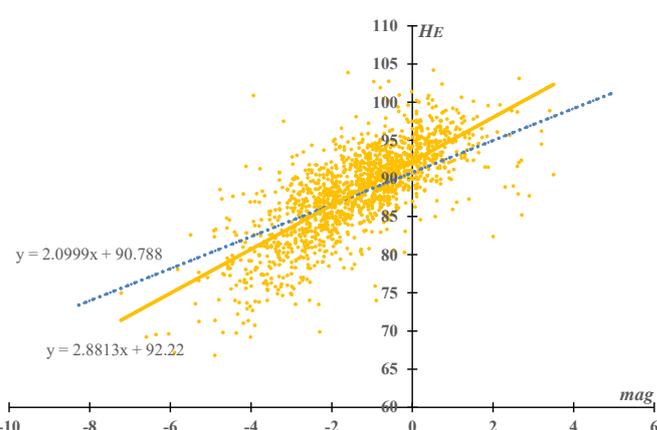
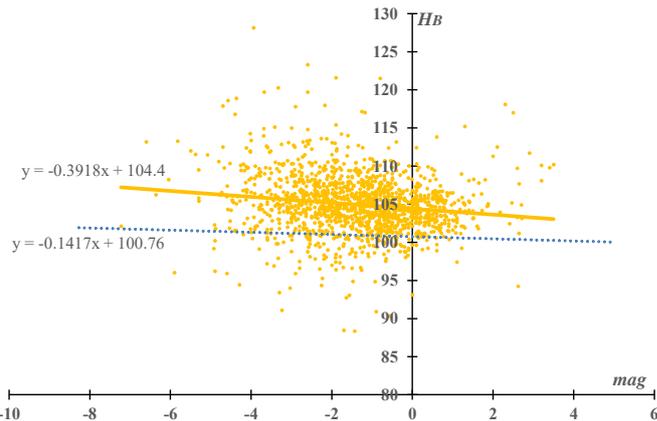
光度比



大きく、また、こと座流星群の極大が日本に不利な時間帯に当たる年もあるためでもある。その下の図はGMNで観測流星数に占める「こと座流星群」と判定された流星の年変化を示している。2019年の数値が極端に低いのは、2019年がGMNにとって実質的な活動開始の年であり、一年間で急速に観測流星数が増加したためである。こと座流星群の活動期の観測に比べて、年後半の観測数が極めて多くなったために見かけ上、こと座流星群の割合が低く見積もられていることによる。したがって、GMNの観測からは、こと座流星群の活動変化は認められない。SonotaCo ネットのグラフでも、平均的には0.4%程度になり、GMNとほぼ一致している。ただし、繰り返しになるが、SonotaCo ネットで捉えられている短時間の活発化は今後も起きると考えられる。また、SonotaCo ネットのグラフからは、こと座流星群の活動が年々、活発化する傾向にあるようにも見え、注意しておく必要がある。

発光点と消滅点の高度

次に、こと座流星群の流星体の特性に関する観測を見ていくことにする。流星の発光点高度と消滅点高度は、流星体の特性以外に地心速度と流星体の大きさ（光度）によって変化する。次の図は、こと座流



光度比も流星体の特性を表す重要な指標であるが、これを直接求めるには、眼視観測における「見落とし率」に相当するものを求める必要がある。ここでは、こと座流星群とほぼ同じ地心速度をもつ流星の光度分布に対する比を対数で表したものをを用いることにする。

×印で示した範囲は流星数が少なく、回帰分析に

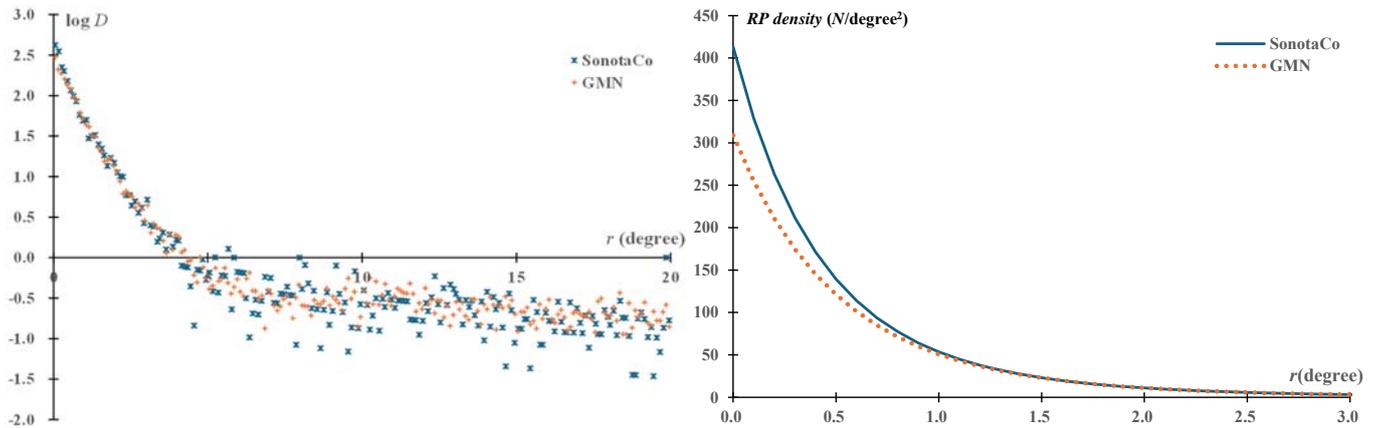
使用していない。-4<mag<1.9 の範囲の流星から、-0.1608 という右下がりの直線の傾きが得られる。これは暗い流星ほど、散在流星に対する割合が小さく、逆に明るい流星ほど散在流星に対する割合が大きいことを意味している。つまり、光度比は散在流星よりかなり小さく、仮に散在流星の光度比を 4.0 または 3.5 とすると、こと座流星群の光度比はそれぞれ 2.76 または 2.42 と推定される。散在流星の光度比は地心速度によっても変化するので、あくまでこれは参考値である。

SonotaCo ネットと GMN の比較

すでに示したように、SonotaCo ネットと GMN で得られた輻射点の位置および地心速度はほぼ同一であり、推定される軌道もよく一致している。改めて、輻射点と地心速度の決定精度を詳しく見てみよう。

輻射点密度：輻射点の位置決定精度

輻射点密度のグラフは、回帰分析により推定される輻射点から 0.1 度幅の円環内の輻射点密度を示したものである。流星の速度を選択要素にしておらず、群流星と判断されなかった流星も含めている。中心から 20 度以内の輻射点数を 1000 と規格化している。左の図は、この規格化された輻射点密度の対数をとって示したものである。SonotaCo ネット、GMN とともによく似た分布となる。これを 3 次関数で近似して、単純化した上で、規格化された実数での密度に戻したものが右のグラフである。

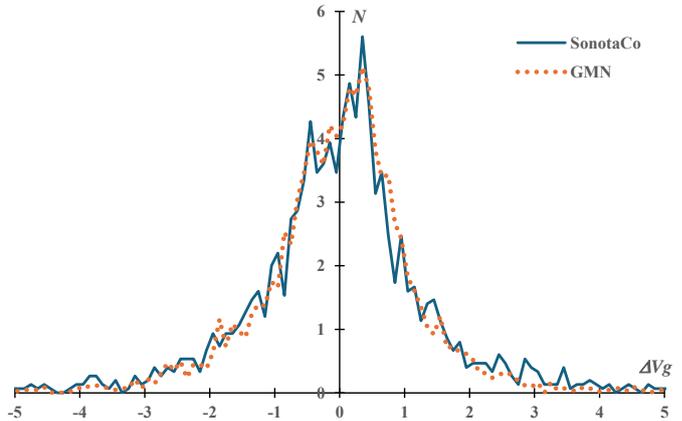
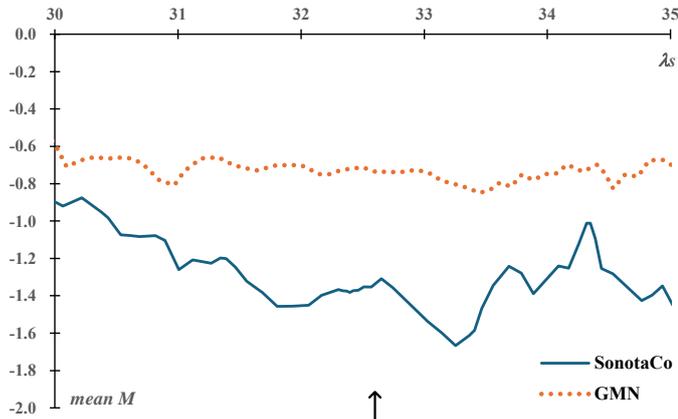


輻射点密度が半減するのは、SonotaCo ネットが 0.31 度、GMN が 0.37 度であり、密度が 1/10 になるのが、SonotaCo ネット 1.15 度、GMN 1.31 度である。わずかな違いはみられるが、両者ともよく似た分布である。違いは前に述べたように SonotaCo ネットが、こと座流星群の二度の活発化を捉えているためとみられる。

速度分布：速度決定精度

速度分布のグラフは輻射点中心から 3 度以内に入る流星すべてについての $\Delta V_g = 0.1 \text{ km/s}$ ごとの流星数分布である。したがって、群流星と判断されなかった流星も含まれている。回帰分析によって求められた速度の太陽黄経による変化から $\Delta V_g < 3 \text{ (km/s)}$ の流星数を 100 と規格化している。ここで興味深いのは、両者ともに分布の最大値が $\Delta V_g = 0$ ではなく、 $\Delta V_g = +0.35$ となっていることである。

速度分布で $-3 < \Delta V_g < +3$ の範囲の流星から求めた標準偏差は SonotaCo ネットが 1.08、GMN が 1.01 である。



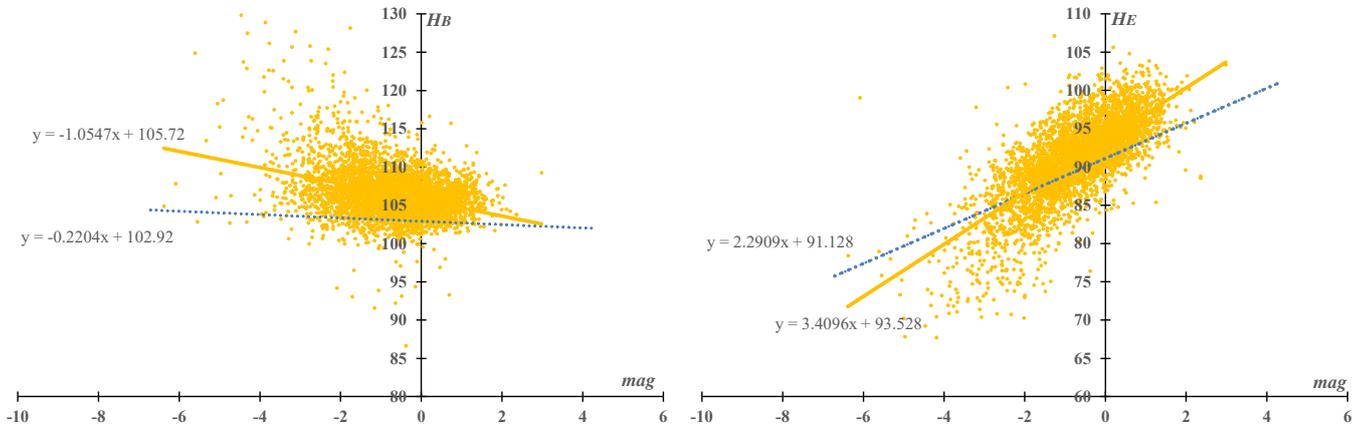
平均光度

両者で異なる点は撮影される流星の光度分布、平均光度である。

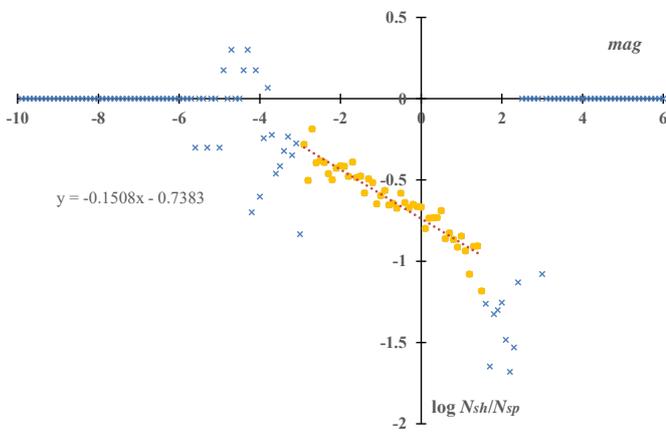
極大付近で観測された流星の平均光度の変化を見ると（左図）、SonotaCo ネットよりも GMN の方が 0.4 等級ほど暗い流星を捉えていることがわかる。おそらく、これは使用されている機材の違いによるものと考えられる。図中で上向きの矢印が極大を示しているが、SonotaCo ネットの観測では、極大にやや遅れて明るい流星の割合が増えている様子が見える。これは先に触れた 2 回の突発出現よりも遅く、平年の傾向と考えられる。しかし、GMN ではその傾向は、あまりはっきりしない。

発光点と消滅点の高度

SonotaCo ネットの観測同様、GMN の観測でも 0 等級の流星で、こと座流星群の方が散在流星より発光点高度が 2.8km、消滅点高度が 2.4km 高くなっている。また、明るい流星では、こと座流星群の方が散在流星より消滅点が高い傾向がみられる点も似ている。発光点高度、消滅点高度ともに、GMN の方が、同じく 0 等級の流星で、SonotaCo ネットよりも 1.3km ほど高くなっている。これは、後の報告で述べる予定だが、他の流星群についても同じ傾向である。



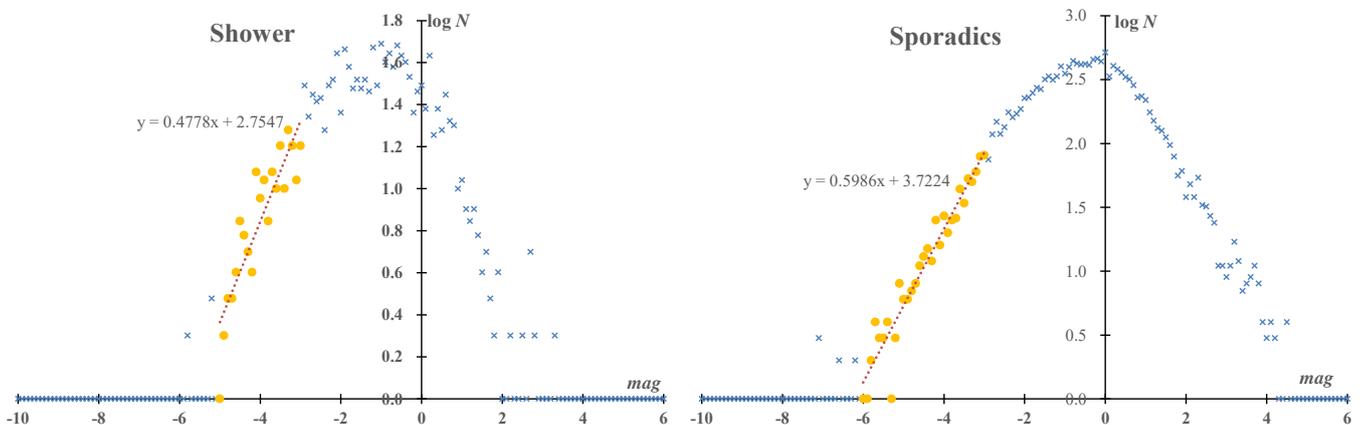
光度比



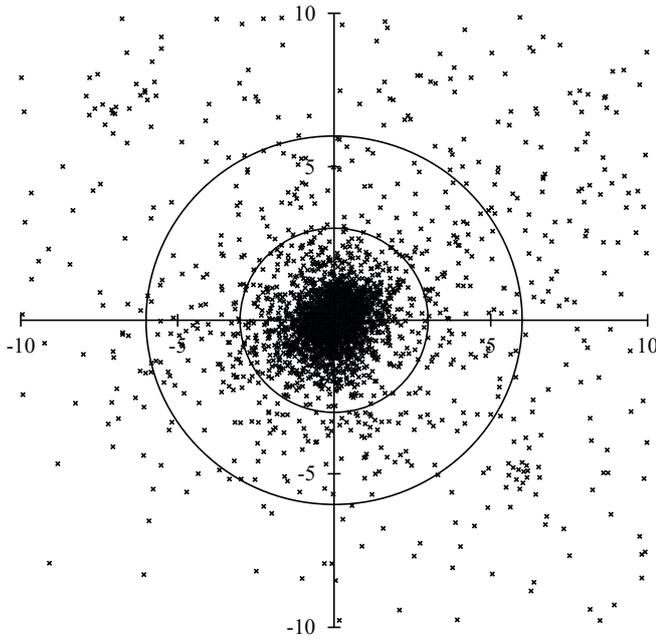
光度比について、GMN の場合も SonotaCo ネットと同様の結果が得られている。 $-2.5 < \text{mag} < +1.5$ の範囲の流星について、散在流星に対する傾き -0.1508 という直線が得られる（左図）。散在流星の光度比を 4.0 または 3.5 とするとき、こと座流星群の光度比はそれぞれ 2.83 また 2.47 と推定され、SonotaCo ネットの結果とよく合っている。

ここで、散在流星との比をとる方法が妥当であることを検証しておく。下に示したグラフは流星の光度分布を対数で表したもので、従来、光度比を求める際に使用されていたものである。分布が山型になるのは、暗い流星をすべて補足することができないためである。

SonotaCo ネットの観測で比較的、直線で表せる部分に対する回帰直線の傾きから、こと座流星群の光度比は $-5 < \text{mag} < -3$ の範囲で $r=3.00$ 、散在流星は $-6 < \text{mag} < -3$ で $r=3.97$ と求められる。これらの数値は今まで述べてきたものと大きく矛盾するものではないが、GMN のデータから同様の操作をすると、こと座流星群の光度比は $-4 < \text{mag} < -2$ で $r=4.94$ 、散在流星が $-4 < \text{mag} < -2$ で $r=3.61$ となり、大きく異なる結果となる。一つには、この直接求める方法では、散在流星との比から求める場合に比べて、使用する光度の範囲がずっと明るいものになっていることが原因とも考えられる。しかし、おそらく、最も大きな原因は両者での流星の光度を決定する測光システムが異なることにありと推測される。散在流星との比から光度比を推定することにより、この問題を迂回することができると考えられる。真の光度比を求めるには、散在流星の光度分布を知る必要があるが、流星群間の光度分布を比較するには散在流星との比を利用する方法が適切であろう。



B. みずがめ座 η 流星群

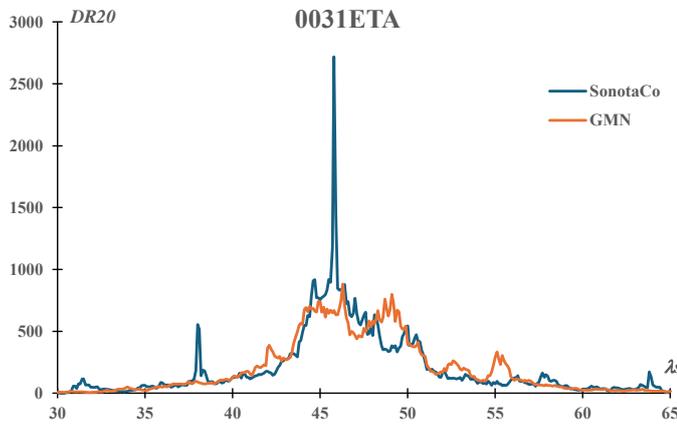


輻射点の移動と地心速度の変化

SonotaCo ネットによる輻射点分布図は左のようになり、左上の輻射点がややまとまった部分は0827NPE とされているが、右下のものにはまだ名前が付けられていない。

GMN の結果も SonotaCo ネットのものによく一致しており、輻射点と地心速度の推定値を太陽黄経 5 度ごとに示すと次のようになる。上の行が SonotaCo ネット、下の行が GMN のものである。

λ_s	α	δ	V_g
30.0	327.1	-6.1	64.7
	327.2	-6.1	64.8
35.0	330.6	-4.5	65.0
	330.7	-4.5	65.0
40.0	334.1	-2.8	65.3
	334.1	-2.9	65.2
45.0	337.5	-1.1	65.6
	337.6	-1.2	65.4
50.0	341.0	0.6	65.9
	341.0	0.5	65.7
55.0	344.4	2.3	66.2
	344.4	2.3	65.9
60.0	347.8	4.0	66.5
	347.8	4.0	66.1
65.0	351.2	5.8	66.8
	351.2	5.8	66.3

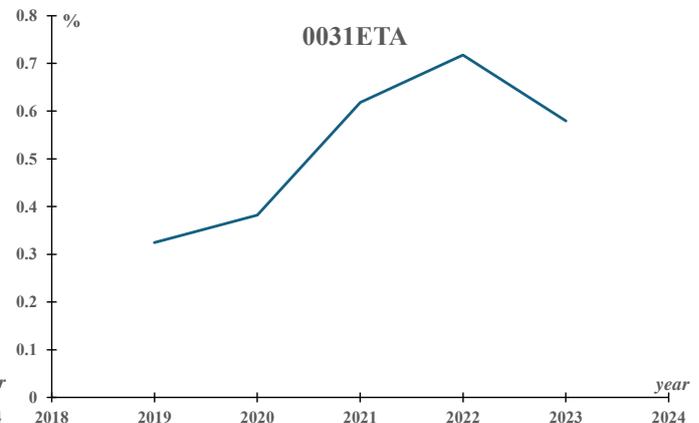
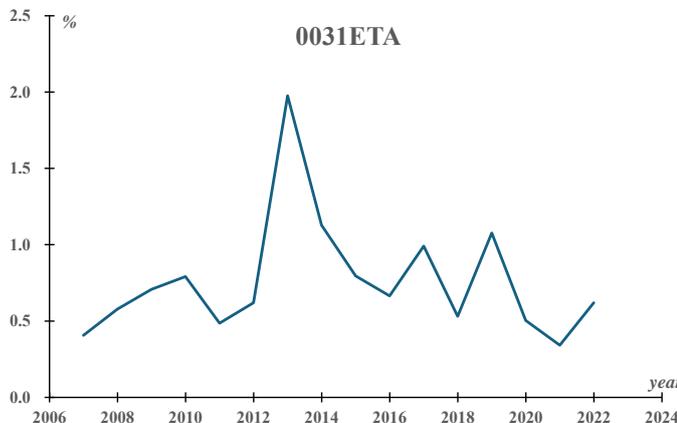


活動の変化：活動曲線と年変化

DR20 によるみずがめ座 η 流星群の活動曲線を左図に示す。SonotaCo ネットのグラフが $\lambda_s=45.8$ で突出しているのは2022年の観測による。しかし、2013年に活発な出現が観測されているが、これは $\lambda_s=45.25$ 付近である。しかし、このグラフは太陽黄経1度幅の移動平均なので、この活発化は平滑化され、むしろ、 $\lambda_s=45.25$ 付近でこのグラフは特別な上昇を見せていない。

グラフが $\lambda_s=45.8$ で突出しているのは、DRの欠点といえる問題で、この原因は背景(比較対象)である輻射点中心から15~20度の範囲で観測された流星が2007~22年でわずか2個しかないことにある。散在流星の活動が一定しない、あるいは極めて不活発な領域にある流星群の活動曲線ではこのようなことが起きる。

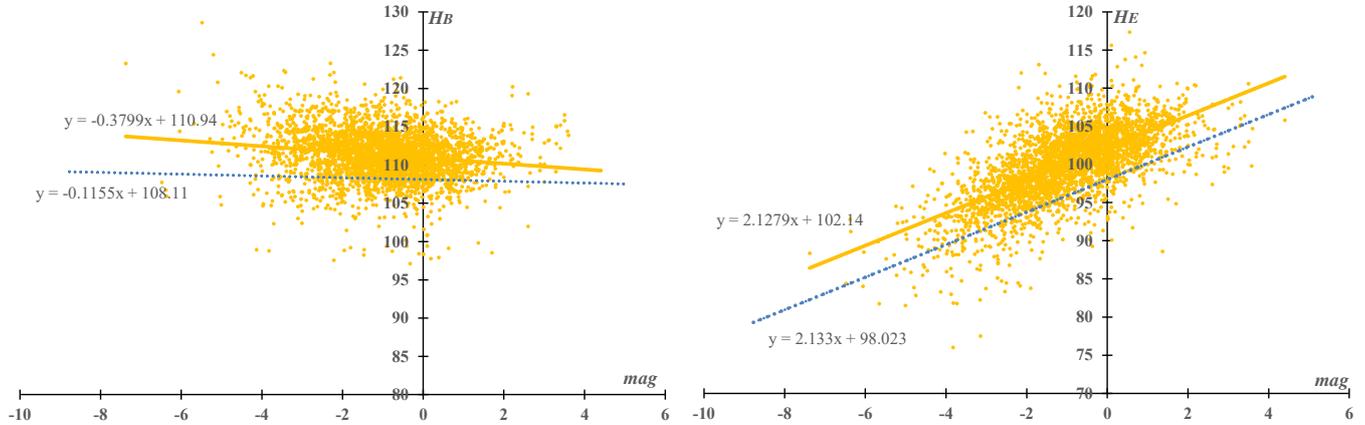
GMNも北半球の観測が多く、極大を詳しく決定するには十分でなく、SonotaCo ネットの観測と合わせて極大は $\lambda_s=45$ 前後と考えるのが妥当であろう。また、活動曲線は非対称で、極大前よりも後の活動の方が長い。



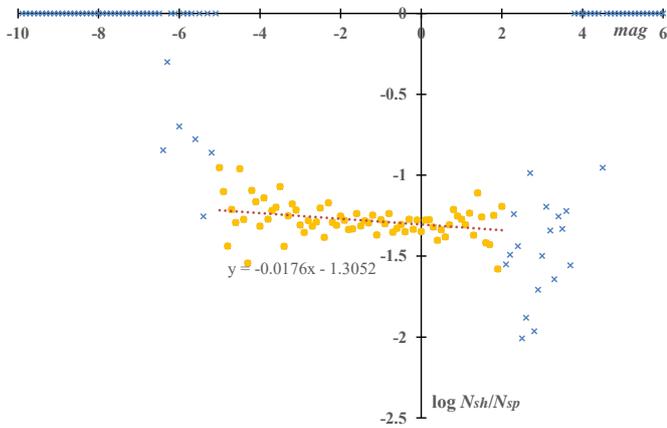
それぞれの年に観測された総流星数に対する「みずがめ座 η 流星群」の流星の割合を上図に示す。左が SonotaCo ネット、右が GMN によるものである。SonotaCo ネットの観測では先に述べたように2013年の活動が突出している。この流星群でもこのような突発があることは注意しておく必要がある。また、GMN で比率が年々増大しているように見えるのは、おそらく、南半球での観測が相対的に増大していったことを表すもので、流星群の実際の活動変化ではないだろう。

発光点と消滅点の高度

みずがめ座 η 流星群の発光点高度と消滅点高度は SonotaCo ネットによると、0 等級の流星で散在流星よりもそれぞれ、2.9km、4.1km 高く、110.9km、102.1km である。こと座流星群と比べると発光点高度は 6.5km、消滅点高度は 9.9km ほど高い。これは、こと座流星群の地心速度が 46.7km/s であるのに対して、みずがめ座 η 流星群は 65.6km/s と、かなり速いことに応じたものである。特に発光点高度が散在流星に比べて高いということは、こと座流星群とみずがめ座 η 流星群の特徴である。流星群によっては、発光点も消滅点もほぼ散在流星と同じものもある。



光度比



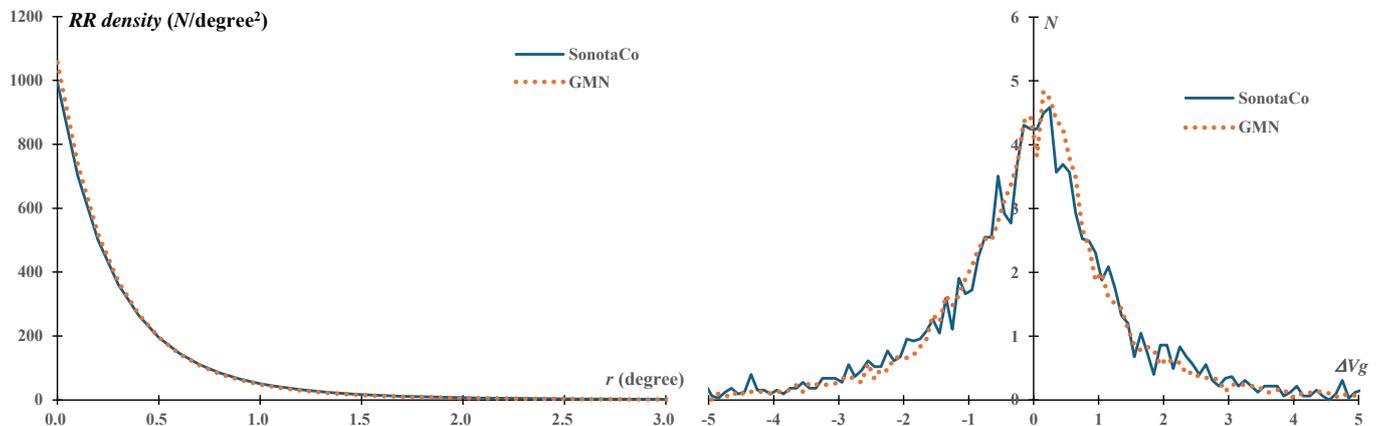
光度比も流星群の特徴を表す重要な指標であるが、見落とし率の推定という問題を避けるために、ほぼ同じ地心速度をもつ散在流星の光度分布との比を対数で示したものをを用いる。SonotaCo ネットの観測では、 $-5 < \text{mag} < +2$ の範囲で傾きが -0.01764 とかなり平らになっている。散在流星の光度比を 4.0 または 3.5 と仮定すると、みずがめ座 η 流星群の光度比はそれぞれ、3.84 と 3.36 と推定され、こと座流星群と比べるとかなり大きな数値となる。GMN の場合には後述のように、みずがめ座 η 流星群の光度比が散在流星よりも、大きくなるという結果になるが、みずがめ座 η 流星群は、こと座流星群と比べると暗い流星の割合が多い

ということを意味している。

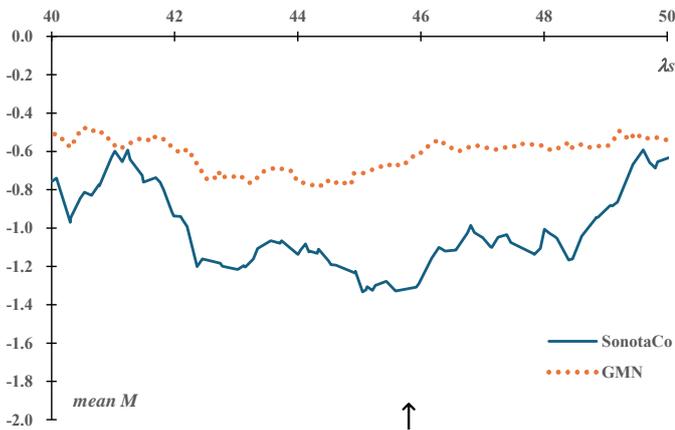
SonotaCo ネットと GMN の比較

輻射点分布密度と速度分布：観測精度

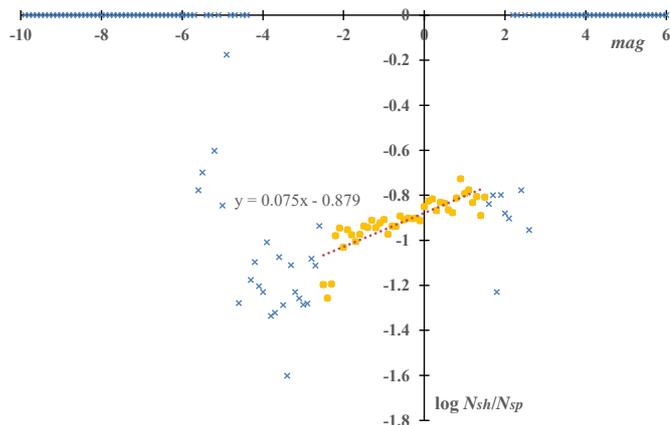
輻射点密度と速度分布のグラフは、こと座流星群の場合と同様、SonotaCo ネットと GMN の結果はよく似ている。みずがめ座 η 流星群の場合に、輻射点密度が半減するのは、SonotaCo ネット、GMN とともに 0.20 度、1/10 になるのが SonotaCo ネット 0.74 度、GMN 0.71 度である。こと座流星群よりもみずがめ座 η 流星群の方が輻射点の密集度は高いことになる。



速度分布で $-3 < \Delta V_g < +3$ の範囲の流星から求めた標準偏差は SonotaCo ネットが 1.14、GMN は 1.08 である。これは、4 月こと座流星群の場合よりもやや大きい。他の流星群においても、対地速度が大きくなると標準偏差が大きくなり、これは地心速度によって測定精度が影響されているものと考えられる。



2.6km、2.9km 高い。SonotaCo ネットの観測に比べると発光点高度と消滅点高度は、それぞれ、1.4km、-0.1km の違いがある。わずかではあるが、GMNの方がより高くから、より低くまで流星像を捉えていることになる。



平均光度

極大付近における流星の平均光度を比べると、こと座流星群と同様に SonotaCo ネットよりも GMN の方が 0.4 等級ほど暗い流星を捉えていることが示される。また、SonotaCo ネットの観測では極大付近で明るい流星が多くなっていることが示唆される。GMN では、その傾向がはっきりしないが、極大後よりも極大前の方が明るい流星が多い傾向がみられる。

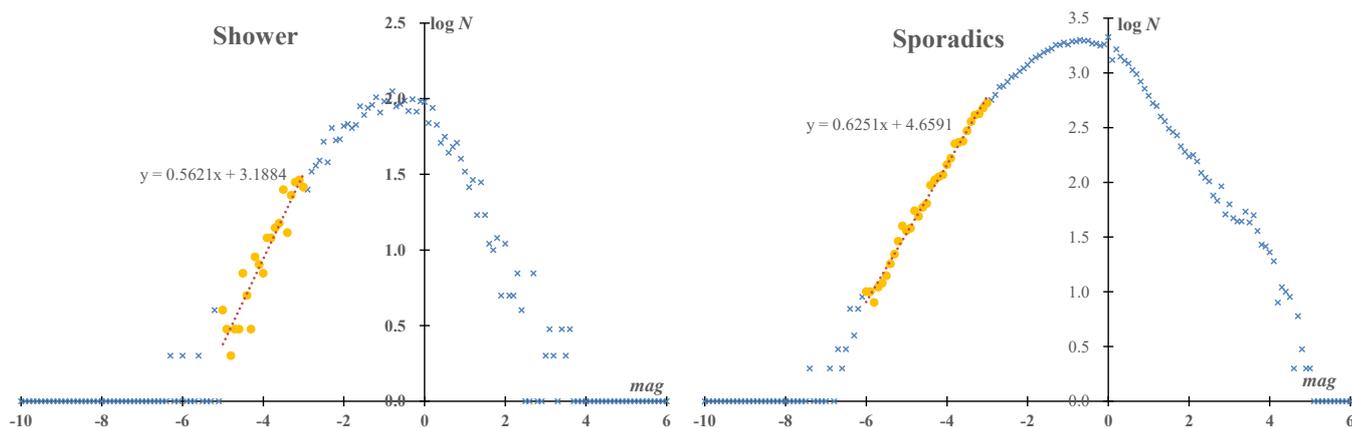
発光点と消滅点の高度

GMN の観測によると、みずがめ座η流星群の発光点高度と消滅点高度は、それぞれ、112.4km、102.0km である。0 等級の流星で散在流星よりもそれぞれ、2.6km、2.9km 高い。SonotaCo ネットの観測に比べると発光点高度と消滅点高度は、それぞれ、1.4km、-0.1km の違いがある。わずかではあるが、GMNの方がより高くから、より低くまで流星像を捉えていることになる。

光度比

GMN の観測について、散在流星の光度分布との比を対数で示したものを左図に示す。 $-2.5 < mag < 1.5$ の範囲で回帰分析による傾きは 0.075 となる。この直線が右上がりになる流星群は少ない。SonotaCo ネットの場合はかろうじて、右下がりであったが、GMN の分布からはみずがめ座η流星群は散在流星に比べて、明るい流星が少なく、暗い流星が多いことが示される。SonotaCo ネットの場合には、2013 年の活発な活動が含まれているのに対して、GMN は平年値を示しているのであろう。散在流星の光度比を 4.0 または 3.5 と仮定すると、4.75 または 4.16 となる。

みずがめ座η流星群についても、直接光度比を求め方法の問題を取り上げることにする。SonotaCo ネットの観測によると、みずがめ座η流星群の光度比は $-5 < mag < -3$ の範囲で $r=3.65$ 、散在流星が $-6 < mag < -3$ で $r=4.22$ となる。こと座流星群に比べて暗い流星が多いという結論は同じである。GMN の場合は、こと座流星群の項でも述べたように、直接光度比を求めると SonotaCo ネットのものに比べて非常に大きな数値になる。GMN のデータからは、みずがめ座η流星群の光度比が $-4 < mag < -2$ で $r=6.19$ 、散在流星が $-6 < mag < -3$ で $r=4.46$ となる。SonotaCo ネットと GMN の違いは、2013 年の活発な活動を含むか否かではなく、やはり、測光システムの違いが原因と考えられる。散在流星との比から光度比の違いを考察する方法が現状では優れていると考えられる。



[追記]

SonotaCo ネットと GMN の観測精度はほぼ同等であることが明らかになったので、やぎ座α流星群以下について両者の比較は必要な場合のみに限定し、SonotaCo ネットにより得られた情報をもとに個々の流星群の特徴に話題を集中することとする。